

ポリエチレン包装によるトマトの追熟抑制とその生理学的研究

著者	大久保 増太郎
号	93
発行年	1973
URL	http://hdl.handle.net/10097/12644

氏 名 (本籍) おお く ぼ ます た ろう
大 久 保 増 太 郎 (千葉県)

学 位 の 種 類 農 学 博 士

学 位 記 番 号 農 第 9 3 号

学位授与年月日 昭和49年 1 月 1 0 日

学位授与の要件 学位規則第5条第2項該当

最 終 学 歴 昭和27年3月
東北大学農学部卒業

学位論文題目 ポリエチレン包装によるトマトの追熟
抑制とその生理学的研究

(主 査)
論文審査委員 教授 柴 崎 一 雄 教授 堀 裕

教授 金 田 尚 志

論文内容要旨

トマトは、収穫後も追熟が進行する果実の典型的なものの一つである。そのため、常温流通における鮮度保持という観点から、トマト特有の問題点が二つ指摘される。一つには遠距離輸送間の品質低下を防止すること、二つには近距離輸送の場合でも、流通中の追熟を考慮に入れて、かなり若い熟度のものが収穫されているが、収穫してから完熟したものと、樹上で完熟したものを比べると、樹上完熟果のほうが明らかに美味であるところから、樹上完熟果に近い状態のものを収穫して、その後の追熟を抑制して良鮮度で流通させる必要性があげられる。

この二つの問題を解決するため、適当な厚さのポリエチレンフィルム包装流通を考え、その鮮度保持性を追求し、同時に、ポリエチレン包装による追熟の抑制をトマト果実の生理的面から検討を加え、その機作を明らかにする目的で本研究は行なわれた。さらに実際のトマトの遠距離輸送にポリエチレン包装を適合させるための試験を行ない、その実用化を計った。

I ポリエチレン包装による追熟抑制と呼吸の変化

turning stage (ripeness score 3)で収穫されたトマトは、追熟適温である24℃前後で5日間保持されると、ほぼ完熟(ripeness score 8)に達する。これに対し、0.03mm厚さのポリエチレン袋にトマトを密封した場合には、追熟の進行は顕著に抑制された。すなわち、20～30%着色のトマトを無包装のまま、24℃に5日間放置すると、果実の緑色は退色し、ついで、トマト特有の赤着色が進行し、肉質が軟化するという一連の追熟現象がみられるが、ポリエチレンフィルムに包装した果実では、緑色が保持され、赤着色の進行が抑制され、肉質の軟化もおさえられることを認めた。

この際に、ポリエチレン包装内のガス組成に変化がみられ、CO₂濃度は3～4%に上昇し、O₂濃度は6～9%に低下した。

この時のトマトの呼吸を無包装で正常に追熟したトマトの呼吸と比較し、同時に10℃(トマトが低温障害をうけない程度の低温)貯蔵果とも比較した結果、正常な追熟のみられる果実では、緑熟期に呼吸量が最も低く、追熟が進むにつれて呼吸量が急速に上昇し、半着色果(ripeness score 4～5)で最大(約CO₂ 40mg/kg/hr)に達し、その後は減少して典型的なclimacteric riseの現象がみられた。一方、ポリエチレン包装した果実では、やや呼吸の上昇がみ

られるが、climacteric rise とは認め難い程度の変化にすぎず、最大呼吸量も CO_2 25 mg/kg/hr 程度の値しか示さず、この両者の比較では、呼吸量と追熟の進行の遅速は比例的な傾向を示した。10℃貯蔵果では、さらに呼吸の抑制がみられ、climacteric rise は全然認められず、むしろ貯蔵日数の経過に伴って呼吸量も漸減の傾向を示した。しかしながら、24℃ポリエチレン包装果と、10℃無包装果の比較では、呼吸の高低と ripeness score の進行の遅速は比例せず、呼吸量の少ない10℃貯蔵果のほうが逆に ripeness score の進行は速やかであった。

II 追熟に伴う chlorophyll および chlorophyllase 活性の変化と、ポリエチレン包装の影響

上記 24℃無包装区、24℃ポリエチレン包装区および10℃無包装区間に ripeness score の増大に差異の生じた原因を、chlorophyll 含量および chlorophyllase 活性の変化から追求した結果、最も追熟の進行が速やかであった 24℃無包装果では、追熟の進行に伴って chlorophyllase 活性は増大し、chlorophyll 含量は急激に低下した。ポリエチレン包装して追熟の進行を抑制した場合には、chlorophyllase 活性の上昇はおさえられ、chlorophyll の残存量が大であった。24℃ポリエチレン包装果と10℃無包装果の比較では、ripeness score の増大が比較的大であった後者で chlorophyllase 活性の増大がより多くみられ、同時に chlorophyll の減少も速やかであった。すなわち、前者では収穫後5日で chlorophyll 含量が収穫当初の $1/2$ 程度残存していたのに対し、後者では $1/6$ に低下した。このことから追熟に伴う chlorophyll の分解（緑色の退色）は必ずしも呼吸量の大小と関係なく chlorophyllase 活性の大小に左右されるものと考えられた。低温（10℃）よりも緩和な呼吸抑制ではあるが、ガス組成の変化によってトマトの代謝を抑制し、chlorophyllase 活性を特に強くおさえ、chlorophyll の分解を抑制し、その結果トマトの鮮度を良好に保持するのが、ポリエチレン包装の大きな特徴といえよう。

III 追熟に伴う carotenoids の生成と、ポリエチレン包装による抑制

lycopene 含量を前項と同様な条件下におかれたトマトについて測定した結果、lycopene

の生成は24℃無包装果では追熟の進行につれて順調に増大し、ポリエチレン包装果、10℃無包装果では、その生成が顕著に抑制された。後記2区の比較では、両者の差はchlorophyll含量ほど認められなかったが、どちらかといえば、前者の含量が後者のそれに比べて大であった。すなわち、lycopeneの生成量については、chlorophyllの分解とは異なり、呼吸量にほぼ比例した傾向を示し、呼吸量の少ないものほどlycopeneの生成が抑制された。

lycopene生成が順調に進行した24℃無包装果ではlycopeneの生合成の中間体であるphytoeneの生成も大であり、逆にポリエチレン包装してlycopeneの生成を抑制した果実では、phytoeneの生成も少なかった。lycopeneの植物体内での生合成は前駆物質であるmevalonic acid (MVA) がりん酸化されてisopentenyl pyrophosphate (IPP) となり、それがfarnesyl pyrophosphate (FPP) を経て、head to tailの縮合を繰返し、 C_{20} のgeranyl-geranyl pyrophosphateになり、これが、tail to tailの結合をして C_{40} の無色のphytoeneになる。phytoeneはdehydrogenationを繰返してacyclic carotenoidのlycopeneとなることは確認されている。この経路でMVAからphytoeneの生成までには、各段階でりん酸化とそれに続く縮合が繰返されるが、ポリエチレン包装によるトマトの、lycopene生成系の阻害は、前記phytoeneの生成量の低下からしてMVAのりん酸化に続く縮合反応が阻害される可能性は強い。そこでりん酸の受授に必要なATP、ADPなどの高エネルギーりん酸量の果実の追熟に伴う変化を測定した。その結果、追熟が正常に進みlycopeneの生成が順調に進行する果実では、追熟の進行に伴って高エネルギーりん酸量特にADP量が増加することが認められた。一方ポリエチレン包装してlycopeneの生成を抑制した果実では、高エネルギーりん酸量はほとんど増加しなかった。SHNEOURはトマトホジネイトを用いた $2-^{14}C$ -MVAの取込み実験でATP欠の条件および N_2 気流中でのlycopeneへの取込みが1/3ないしはそれ以下に低下したことを報告している。

これらのことからポリエチレン包装および無包装トマトの高エネルギーりん酸含量の差異は、ポリエチレン包装果における C_5 単位の縮合反応の阻害の可能性を示すものといえよう。

N $2-^{14}C$ -MVAと $2-^{14}C$ -acetateの取込み とポリエチレン包装の影響

carotenoidsの前駆物質であるMVAはAcetyl CoAから $\beta-OH$ 、 $\beta-CH_3$ -

glutaryl CoA を経て生成されるが、その際に NADPH の供給が必要である。ポリエチレン包装した場合にはその嫌氣的条件のため NADPH の供給が不足し、Acetyl CoA から MVA までの系が阻害されることも考えられる。そこで、 $2-^{14}\text{C-acetate}$ と $2-^{14}\text{C-MVA}$ の取り込み実験を行なった結果、 $\text{MVA} \rightarrow \text{lipids}$ 、 $\text{MVA} \rightarrow \text{lycopene}$ の阻害および、 $\text{acetate} \rightarrow \text{lipids}$ 、 $\text{acetate} \rightarrow \text{lycopene}$ の取り込み阻害のいずれもがトマトをポリエチレン包装することにより認められた。すなわち $2-^{14}\text{C-MVA}$ が一定量供給されると、 24°C で正常な追熟の進行する果実では、急速に放射活性が lycopene に取り込まれるが、ポリエチレン包装した場合には lycopene への取り込みは約 $1/3$ に減少した。これは、前項で指摘した MVA の縮合阻害が、ポリエチレン包装による lycopene 生成抑制の一因であることをさらに強く支持するものといえよう。

一方、 $2-^{14}\text{C-acetate}$ からの lycopene への取り込みが $2-^{14}\text{C-MVA}$ からの取り込みに比べてさらに阻害の程度が著しかったことから、acetate から MVA までの生合成系の阻害もあるらしいことが推定された。同時に測定した NADP レベルの変化をみると、 24°C 無包装果では NADP レベルが高く、しかも追熟の進行につれて増大した。それに対し、ポリエチレン包装した場合にはそのレベルの増大は抑制され、貯蔵日数の経過に伴う変化はほとんど認められず上記推定が正しいことを示すものと考えられた。特にゲル状部に NADP レベルが高いことは、トマトの追熟、着色進行にこのゲル状部が何らか重要な役割を果していることを示唆するものと思われた。

V 追熟に伴う解糖系の変化とポリエチレン包装の影響

Climacteric rise のみられる果実では、一般にこの時期に代謝の転換が行なわれることが報告されている。トマト果実の解糖系についてその点を調べた結果、正常追熟果では aldolase 活性が追熟に伴って低下し、逆に G-6-PDH は一時的ではあるが、上昇の傾向が認められた。しかるに、果実をポリエチレン包装して追熟を抑制した場合には、aldolase 活性の低下がおさえられ、ほとんど収穫当初の活性が維持された。さらに G-6-PDH 活性は、ポリエチレン包装した果実が無包装果に比べて低い値を示した。すなわち、turning stage 収穫のトマト果実が正常に追熟する場合には、追熟が進行するにつれて解糖系は EMP 系から HMP へ移ることが推定された。それに対しポリエチレン包装して追熟を抑制すると、この解糖系の転換は進行せず、これが追熟の抑制につながるものと考えられた。

TCA cycle の酵素として、SDH 活性を測定したところ、SDH 活性は果肉部に比べてゲル

状部で高く、しかも果実の呼吸のclimacteric rise とほぼ同時期に上昇して、その後は低下した。一方ポリエチレン包装した果実では、その上昇は抑制された。

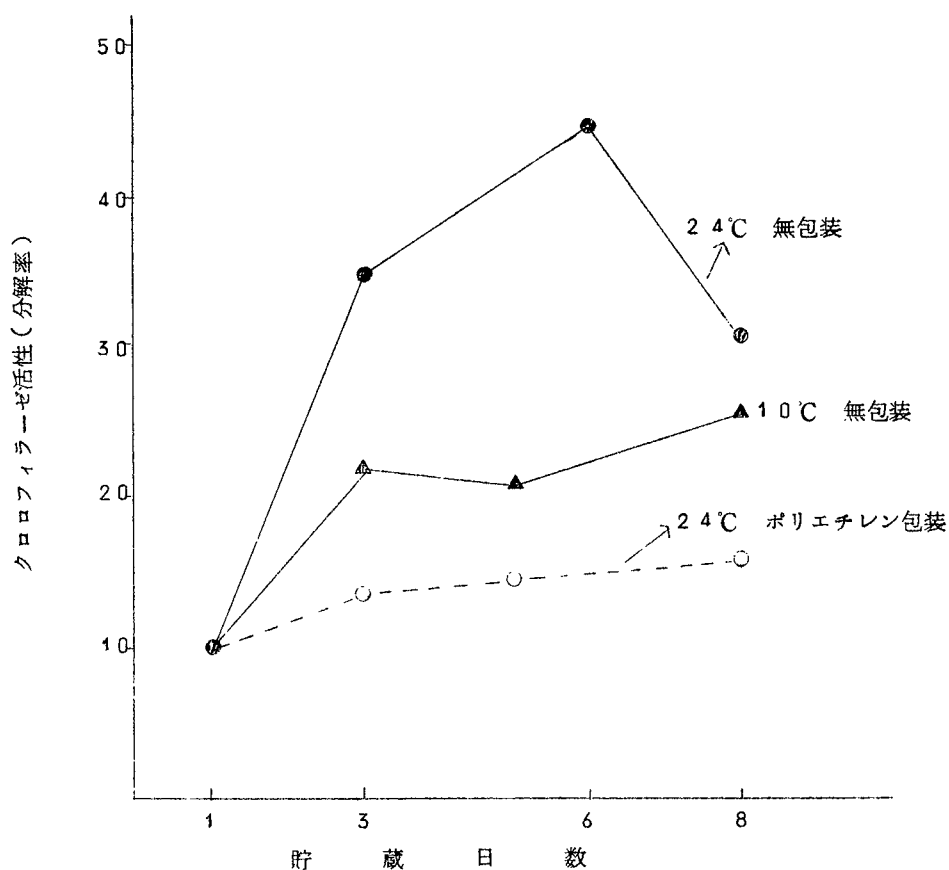
トマト果実をゲル状部と果肉部に分けて、成分変化を測定したところ、酸およびでん粉含量などの量はゲル状部で高く、これら成分は果実の追熟に伴って急速に低下した。また前述したようにNADPレベルおよび高エネルギーりん酸含量も果肉部に比べてゲル状部で高く、かつ果実の追熟の進行に伴って、レベル、含量とも増大した。さらにaldolase, G-6-PDH, SDHなどの酵素活性もすべて、程度の差はあれ、ゲル状部で強い活性を示した。これは、ゲル状部の各代謝活性がトマトの追熟現象において重要な位置を占めることを示唆するものと考えられた。トマト果実がポリエチレン包装されると上記NADPレベル、高エネルギーりん酸含量などの増大が抑制され、酵素活性の変化もおさえられ、さらに解糖系の転換も阻止されて、追熟が抑制されるものと思われた。

VI 遠距離貨車輸送試験

常温流通におけるトマトの追熟抑制に、ポリエチレン密封包装が有効であることを認めたので、これを実際の出荷に組み込んで遠距離輸送試験を行なった結果、従来の出荷形態に適合させて用いたポリ風呂敷法により、5日後の札幌市場到着時に、従来の無包装区のトマトは追熟が進行して、完熟してしまったのに反し、ポリ風呂敷法により内包装したトマトは、追熟が抑制され、鮮度が良好な状態で着荷した。このことから北海道輸送の際にも、従来のような緑色果の収穫は不必要となった。そのため、札幌市場着荷時における着色不揃による商品性の低下は防止され、さらに東京など近距離市場への出荷の場合にもこの方法を用いることにより、従来より樹上で熟度の進んだものを収穫して出荷することが可能となり、収穫後追熟果に比べて美味な樹上成熟果を流通させることが可能となった。

第1表 低温(10℃)とポリエチレン包装がchlorophyll含量に及ぼす影響

温 度	処 理	貯 蔵 日 数				Ripeness score (6日)
		0	2	4	6	
24℃	ポリ包装	1.18 mg%	1.08	0.83	0.59	4.0
"	無包装	1.18	0.37	—	0.05	9.5
10℃	"	1.18	0.76	0.55	0.21	6.1



第1図 Chlorophyllaseの活性に及ぼす低温とポリエチレン包装の影響

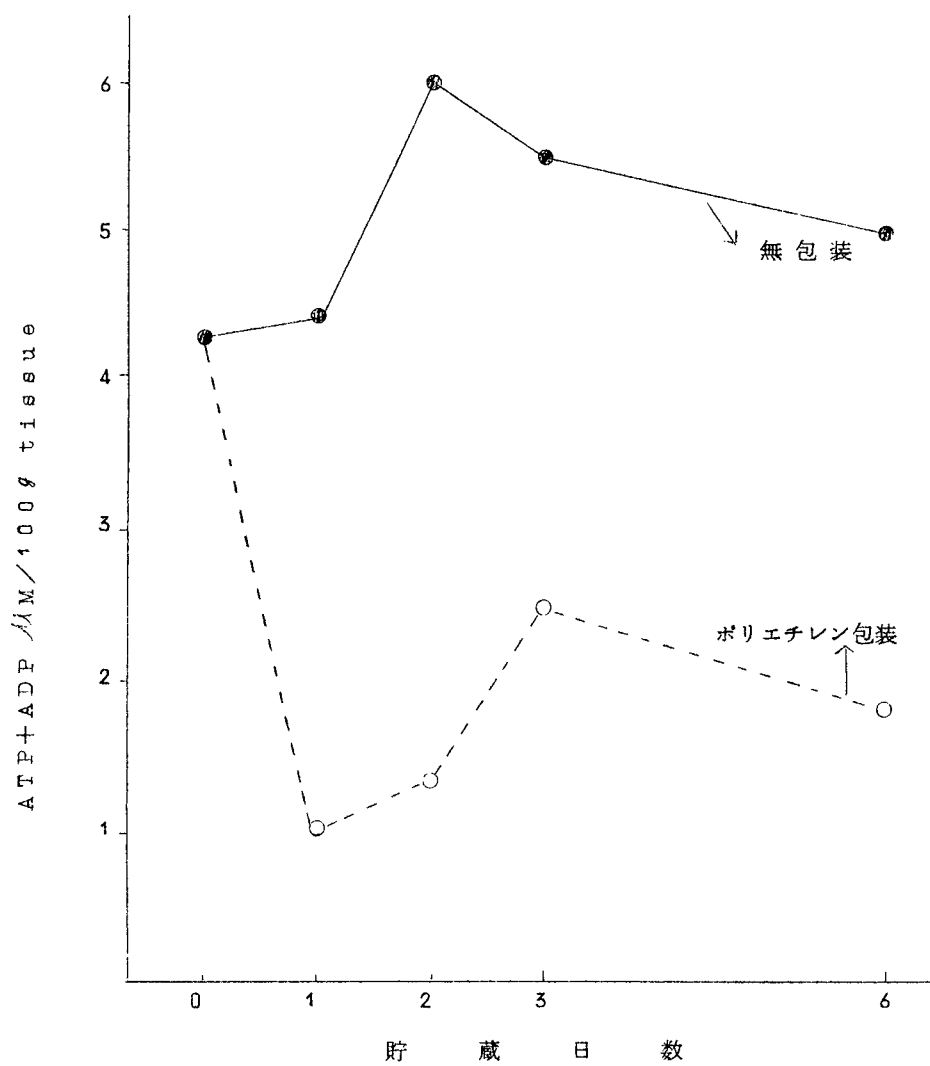
第2表 トマトの追熟に伴うカロチノイドの変化とポリエチレン包装の影響

処 理	カロチノイド 貯蔵日数	Phytoene(%)			Lycopene(%)		
		0	2	5	0	2	5
無 包 装		0.21	0.60	0.85	0.17	1.46	4.50
ポリエチレン包装		0.21	0.24	0.30	0.17	0.35	0.52

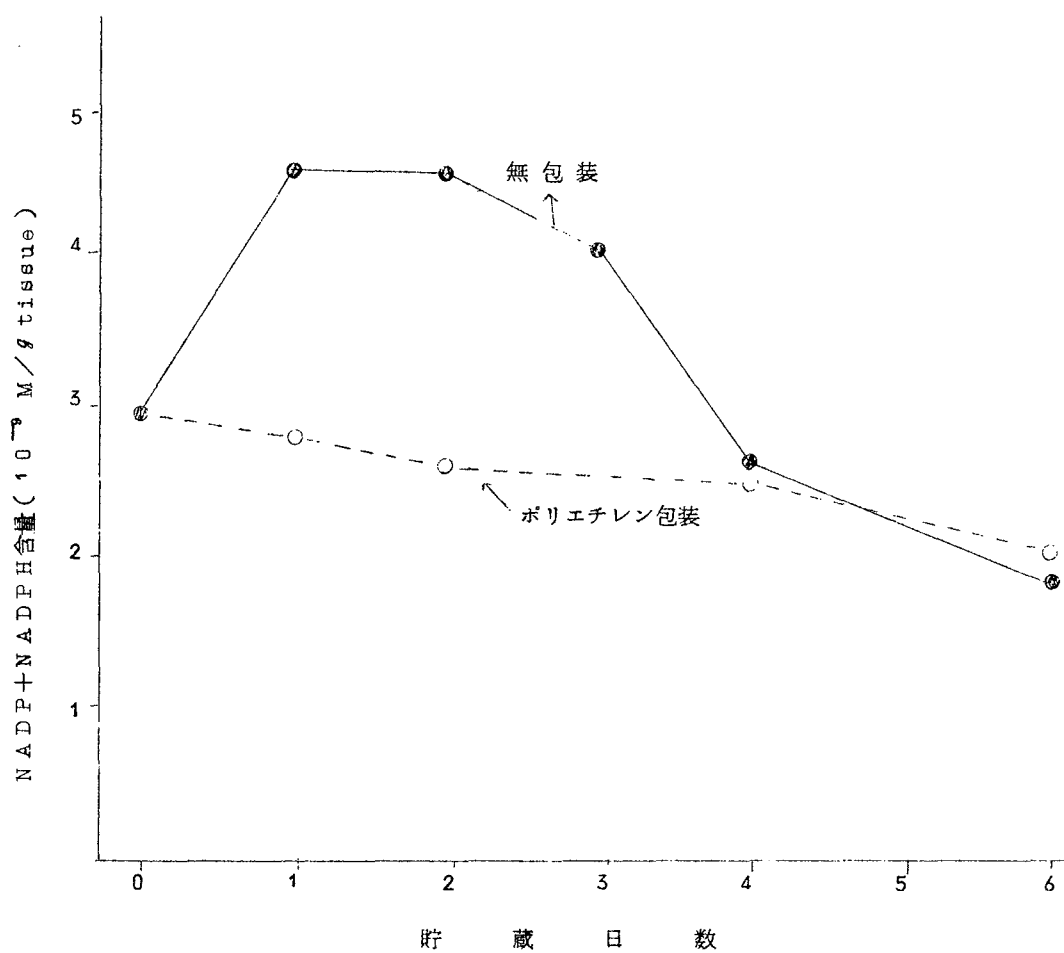
第3表 2-¹⁴C-MVAと2-¹⁴C-AcetateのトマトLipidsおよび
Lycopeneへの取込みとポリエチレン包装の影響

処 理	基 質 取込み物質	2- ¹⁴ C-MVA		2- ¹⁴ C-Acetate	
		Lipids	Lycopene	Lipids	Lycopene
無 包 装		980.500	18.400	300.000	23.000
ポリエチレン包装		840.000	5.300	164.000	3.600

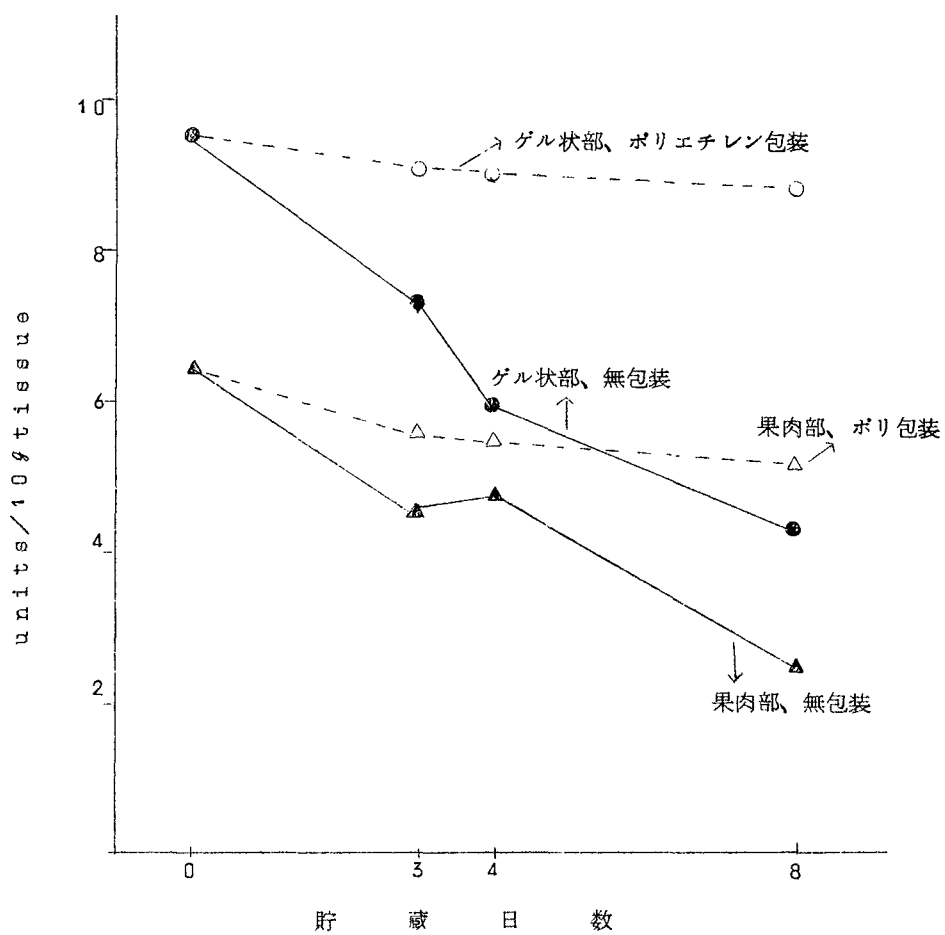
注：表中の数値は¹⁴C注入96時間後に取込まれた全放射活性cpmを示す。



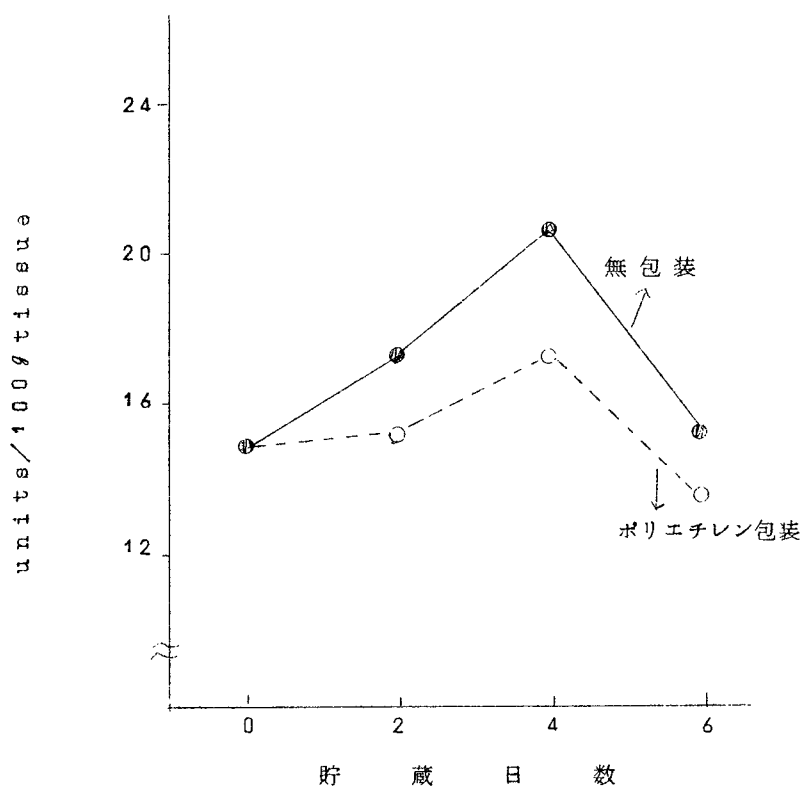
第2図 ゲル状部の高エネルギーりん酸含量とポリエチレン包装の影響



第3図 トマト果実のNADPレベルの変化とポリエチレン包装の影響



第4図 トマトの追熟に伴う部位別aldolase活性の変化



第5図 トマトの追熟に伴うゲル状部のG-6-PDH活性
の変化とポリエチレン包装の影響

審 査 結 果 の 要 旨

トマトは収穫後も追熟が進行する果実で、常温流通での鮮度保持という観点から、美味な樹上完熟果に近いものを収穫して、その後の追熟を抑制して良鮮度で流通させる必要があり、また遠距離輸送の品質の低下防止が必要である。このため著者は適当な厚さのポリエチレンフィルム包装流通を考案し、この鮮度保持性を追求し、さらに追熟の抑制を果実の生理的な面から検討を加え、この機作を明らかにする目的で本研究を行なった。

Turning stage で収穫され、追熟適温の 24°C 前後に5日間保蔵されると、ほぼ完熟してしまうが、これに対し 0.03 mm 厚さのポリエチレン袋に密封すれば、追熟の進行が著しく抑制され、装内の CO_2 濃度は $3\sim 4\%$ に上昇し、 O_2 濃度は $6\sim 9\%$ に低下することを見出した。正常の追熟のものでは典型的な呼吸の異常上昇現象が認められたが、包装のトマトではやや上昇がみられる位で、最大呼吸量も CO_2 25 mg/Kg/hr に過ぎなかった。

赤色化に先立って起る緑色の退色について種々検討した結果、追熟に伴うクロロフィルの分解は必ずしも呼吸量の大小に関係なくクロロフィルラーゼ活性の大小に左右され、ガス組成の変化によって代謝作用、特にこの活性を強くおさえ、クロロフィルの分解を抑制し、鮮度を良好に保持することを明らかにした。

次に赤色素のリコピンの生成について検討し、この生成量はクロロフィルの分解とは異なり、呼吸量にほぼ比例し、少ないもの程生成が抑制されることを見出した。リコピンの生合成の中間体であるフィトエン、前駆物質であるメバロン酸の変化を追求し、メバロン酸のりん酸化反応の、りん酸の受授に必要な ATP 、 ADP などの高エネルギーりん酸量の追熟に伴う変化を測定した結果、包装および無包装トマトの高エネルギーりん酸量の差異は包装果における C_5 単位の縮合反応の阻害の可能性を明らかにした。さらに $2-^{14}\text{C-acetate}$ と $2-^{14}\text{C-MVA}$ の取込み実験を行ない、包装トマトではリコピンへの取込みが約 $1/3$ に減力することを認め、縮合反応の阻害がリコピン生成抑制の一因であることを証明している。そして呼吸の異状上昇がみられる果実では、この時期に代謝の転換が行なかれるが、包装されると解糖系の EMP 系から HMP への転換も阻止されて、追熟が抑制されるものと種々の実験から考察した。

最後に千葉から札幌迄実際に遠距離輸送試験を行ない好成績を得て初期の目的を果たしている。

以上のような結果で園芸学、食品保蔵学に新知見を加えたばかりでなく、実用的にも貢献する所が大きいので審査員一同は著者が農学博士の学位を授与されるのに十分であると判定した。